

GUNUNG API LUMPUR DI DAERAH CENGKLIK DAN SEKITARNYA, KABUPATEN BOYOLALI PROVINSI JAWA TENGAH

S. Bronto, P. Asmoro & M. Efendi

Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, K-ESDM

Jln. Diponegoro 57 Bandung 40122

Email: sutiknobronto@gmail.com

INTISARI

Di Kabupaten Boyolali dan sekitarnya terdapat endapan gunung api lumpur, yang tersingkap memanjang ke barat–timur (lk. 20 km) selebar 3–5 km mulai dari Danau Cengklik sampai tepi barat Bengawan Solo. Endapan gunung api lumpur itu berukuran butir lanau–lempung sampai pasir-kerakal andesit basal skoria di Dusun Gununglondo. Di bawah permukaan endapan lumpur itu berupa sisipan atau terobosan di antara perlapisan sedimen, serta mengisi struktur rekahan, membentuk struktur diapir dan bola lumpur, sedangkan yang mampu keluar meninggalkan jejak diatrema dan endapan permukaan. Data ini menggambarkan proses pergerakan lumpur dari dalam ke permukaan bumi, yang dapat dibandingkan dengan erupsi gunung api. Di permukaan endapan lumpur membentuk perlapisan, yang sebagian terlipat lemah dan tersesarkan. Danau Cengklik diduga sebagai bekas kawah gunung api lumpur.

Daerah Cengklik dan sekitarnya berkembang pesat karena terdapat bandara internasional Adisumarmo dan sedang dibangun jalan tol Solo-Surabaya. Berhubung sebagian batuan penyusun adalah endapan gunung api lumpur dan banyak mengalami rekahan maka daerah ini dipandang sebagai zona lemah. Potensi bahaya geologi utama yang mengancam adalah deformasi muka tanah di jalan tol karena tidak kuat menahan beban berat bangunan jalan serta kendaraan yang melewatinya. Potensi bahaya lainnya adalah pencemaran air tanah, gempa bumi, reaktivasi gunung api lumpur dan gunung api. Oleh sebab itu penelitian dan mitigasi bahaya geologi tersebut agar dilakukan secara berkesinambungan.

Kata kunci: bahaya geologi, boyolali, cengklik, gunung api lumpur, mitigasi

1.PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang, Tujuan dan Lokasi

Gunung api lumpur (*mud volcanoes*) sudah lama dikenal di Indonesia, antara lain di Bledug Kuwu dan Sangiran, Provinsi Jawa Tengah (van Bemmelen, 1949). Istilah itu menjadi lebih mengemuka dengan munculnya gunung api lumpur di Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur pada 2006 (Zaennudin dkk., 2010). Satyana (2008) melaporkan kejadian gunung api lumpur tua di daerah aliran sungai Brantas yang menyebabkan keruntuhan kerajaan Jenggala dan Majapahit di Jawa Timur. Makalah ini melaporkan temuan baru gunung api lumpur di daerah Kabupaten Boyolali dan Karanganyar, Jawa Tengah, yang terletak di sebelah selatan Sangiran dan tepi utara kota Solo. Mulai dari barat ke timur gunung api lumpur itu tersebar di sekitar Danau Cengklik hingga tepi barat aliran Bengawan Solo, sepanjang lk. 20 km dan lebar 3-5 km.

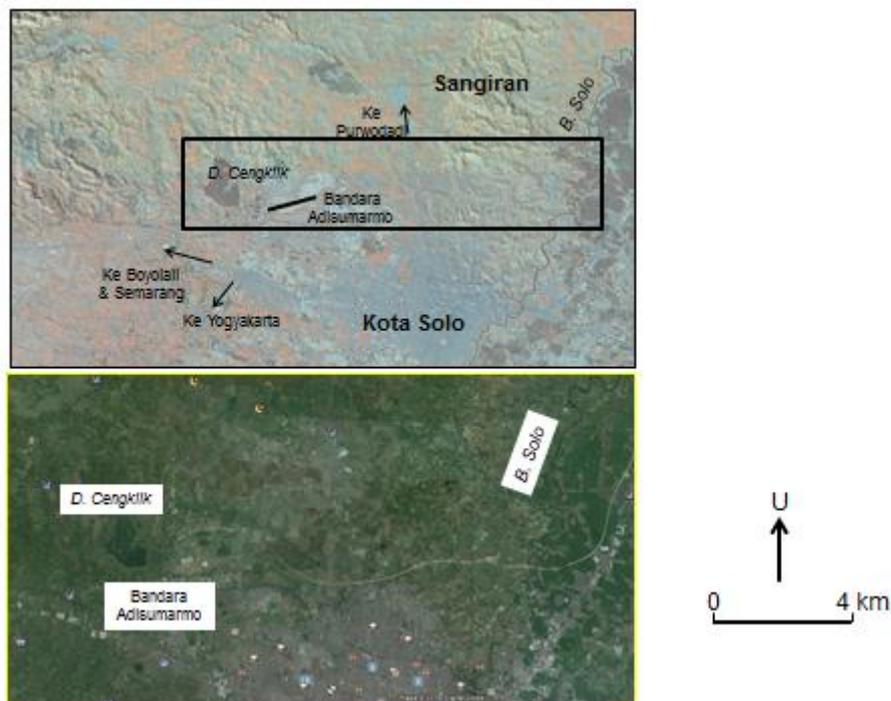
Selama ini publikasi gunung api lumpur hanya sebatas menunjukkan penampakan di permukaan saja. Makalah ini bertujuan untuk mengetahui penampakan endapan gunung api lumpur tua, baik yang sudah mengendap di permukaan maupun di bawah permukaan. Sementara itu di daerah ini terdapat lapangan terbang internasional Adisumarmo, sedang dibangun jalan tol Solo-Surabaya, serta pembangunan pemukiman dan kegiatan usaha berkembang pesat. Oleh sebab itu adanya gunung api lumpur di daerah tersebut memerlukan perhatian. Hal ini untuk mengantisipasi dampak buruk yang dapat terjadi pada waktu mendatang. Lebih daripada itu ciri litologi endapan gunung api lumpur dan struktur geologi yang ada diharapkan dapat membantu penyelidikan geologi bawah permukaan dalam rangka penanggulangan bencana yang sedang berlangsung, seperti halnya terjadi di Sidoarjo Jawa Timur.

Lokasi penelitian di bagian barat, yakni di sekitar Danau Cengklik, termasuk daerah Kabupaten Boyolali dan di bagian timur merupakan wilayah Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1).

1.2. Landasan Teori

Mengacu batasan gunung api dari Macdonald (1972), maka gunung api lumpur (*mud volcanoes*) adalah tempat, lubang atau bukaan dari mana bahan lumpur keluar dari dalam bumi ke

permukaan, dan endapan lumpur yang terakumulasi di sekeliling lubang itu membentuk gumuk atau bukit kecil. Purbo-Hadiwidjojo (2013) menterjemahkan *mud volcanoes* sebagai poton, yakni longgokan lumpur dengan kepingan batuan, yang terlontar oleh tekanan gas. Garis tengah lubang beragam mulai dari 1-2 m sampai maksimum 10 km, sedangkan tingginya akumulasi endapan lumpur berkisar dari 1-2 m sampai 700 m (*Google: mud volcanoes*). Secara genesis proses keluarnya lumpur tersebut dapat disebabkan oleh kegiatan tektonikA, kegiatan magma (termasuk volkanisme dan hidrotermal), atau kombinasi keduanya. Apabila pembentukan gunung api lumpur disebabkan oleh kegiatan magma, maka proses itu dapat dipandang sebagai erupsi leleran sampai semburan lemah lumpur gunung api. Hal itu dikarenakan bahan lumpur tidak mengandung gas bertekanan tinggi, yang dapat menimbulkan erupsi letusan kuat seperti halnya magma gunung api. Sebagai akibat kegiatan hidrotermal, proses keluarnya lumpur gunung api ke permukaan dapat dipandang sebagai erupsi leleran hidroklastika. Penamaan sebagai ‘gunung api lumpur’ atau *mud volcanoes* dikarenakan proses keluarnya lumpur ke permukaan bumi dan akumulasi endapan yang dihasilkannya sebanding dengan erupsi gunung api; hanya bahannya berupa lumpur, yang tersusun secara dominan oleh campuran klastika silikat alam berukuran butir lempung–lanau dengan air.



Gambar 1. Atas: Citra satelit daerah penelitian (dalam kotak hitam) terletak antara Kota Solo dan Sangiran, serta Danau Cengklik dan Bengawan Solo. Bawah: Peta Google yang memperlihatkan jalan tol Solo-Surabaya (garis putih) mulai dari utara Bandara Adisumarmo ke timur menuju Sragen dan Jawa Timur.

Untuk membedakan gunung api lumpur sebagai hasil kegiatan tektonika atau magma agaknya tidak mudah, terutama di daerah seperti di Indonesia. Hal itu dikarenakan di Indonesia proses tektonika, magmatisme-volkanisme, dan sedimentasi terjadi silih berganti. Wirakusumah dkk. (2000) melaporkan bahwa secara umum gas magma gunung api mempunyai rasio isotop $^3\text{He}/^4\text{He}$ sekitar 6 dan khusus di Pulau Jawa berkisar antara 3,7 – 7,5, sedangkan gas non magma bernilai 1,65 – 2,63.

Gunung api lumpur di dunia antara lain di Hormozgan Iran selatan, Gobustan di Azerbaijan, Glenblair di California Amerika Serikat, dan Yagrumito di Monagas Venezuela (*Google: mud volcanoes*). Di Indonesia sendiri gunung api lumpur antara lain terdapat di Bledug Kuwu dan Sangiran Provinsi Jawa Tengah, serta di Sidoarjo Provinsi Jawa Timur yang dikenal dengan nama Lumpur Sidoarjo (Zaennudin dkk., 2010). Bronto (2008) juga melaporkan kemungkinan adanya lumpur gunung api di zona kontak antara deretan gunung api dengan dataran pantai utara Banten –

Jawa Barat. Di luar Jawa, sesuai dengan asal kata poton, gunung api lumpur terdapat di Pulau Timor.

Meskipun sudah ada kejadian di Sidoarjo Jawa Timur, bencana gunung api lumpur belum dimasukkan ke dalam peraturan penanggulangan bencana di Indonesia. Peraturan itu adalah 1. Undang Undang nomor 24 tahun 2007, tentang Penanggulangan Bencana, 2. Peraturan Pemerintah nomor 21 tahun 2008 tentang Manajemen Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana, 3. Peraturan Pemerintah nomor 64 tahun 2010 tentang Mitigasi Bencana di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, dan 4. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral nomor 15 tahun 2011 tentang Pedoman Mitigasi Bencana Gunung Api, Gerakan Tanah, Gempa Bumi, dan Tsunami.

1.3. Stratigrafi Regional

Daerah penelitian terletak di perbatasan antara peta geologi lembar Salatiga (di bagian utara; Sukardi dan Budhitrisna, 1992) dengan peta geologi lembar Surakarta-Giritontro (di bagian selatan; Suroño dkk., 1992). Menurut para penyelidik terdahulu itu daerah penelitian dan sekitarnya tersusun oleh batuan/endapan berumur Kuartar, yang dibagi menjadi Formasi Notopuro, Endapan Undak (Aluvium Tua) dan Batuan Gunung api Merapi, yang masing-masing tersebar di bagian utara, timur dan barat, sedangkan ke arah selatan (Kota Solo) ditutupi oleh Endapan Aluvium. Formasi Notopuro bagian bawah terdiri atas breksi lahar sedang di bagian atas berupa perselingan tuf dengan batupasir tufan. Endapan Undak (Sukardi dan Budhitrisna, 1992) atau Aluvium Tua (Suroño dkk., 1992) tersusun oleh konglomerat, batupasir dan batulempung. Batuan Gunung api Merapi terdiri atas breksi gunung api, aliran lava dan tuf. Endapan aluvium tersusun oleh bahan lepas berukuran lempung sampai berangkal.

Mengacu stratigrafi daerah Sangiran Formasi Notopuro menumpang di atas Formasi Kabuh, yang dibawahnya secara berturut-turut dari bawah ke atas terdiri atas Formasi Kalibeng dan Formasi Pucangan (Tabel 1). Di dalam Tabel 1 itu Itihara dkk. (1985) menambahkan satuan Gunung api Lumpur. Para peneliti tersebut kemudian mengusulkan penggantian nama Formasi Kalibeng, Pucangan, Kabuh dan Formasi Notopuro, secara berturut-turut menjadi Formasi Puren, Sangiran, Bapang dan Formasi Pohjajar karena keempat nama itu berada di daerah Sangiran. Di sebelah tenggara Sangiran, yakni di Kali Watuburik Bronto dkk. (2004) melaporkan adanya lava basal Grumbulpring sebagai indikasi volkanisme setempat pada umur Kuartar.

Tabel 1 Stratigrafi daerah Sangiran (Itihara dkk., 1985).

Endapan Aluvium Resen		Holosen		
Endapan Teras		3,5 m -	Plistosen Akhir 0,25 ± 0,07 Jth	
Kelompok Kendeng	Gunung api Lumpur	Formasi Notopuro	47,0 m +	Plistosen Awal - Tengah 0,71 - 0,78 Jth
		Formasi Kabuh	5,8 - 58,6 m	
		Formasi Pucangan	157,3 m -	Plistosen Awal 1,16 - 1,51 Jth
		Formasi Kalibeng { Atas	126,5 m +	Miosen - Pliosen Akhir 2,99 ± 0,47 Jth
		{ Bawah		
Batuan Dasar		Miosen Awal, Oligosen, Eosen dan Pra-Tersier		

2. METODOLOGI

Di dalam penelitian ini metoda yang dilakukan adalah dengan melakukan penyelidikan geologi di lapangan, dibantu pengkajian data literatur dan analisis inderaja, serta analisis kimia

oksida mayor dengan metoda XRF. Analisis kimia itu dilaksanakan di laboratorium Pusat Survei Geologi Bandung.

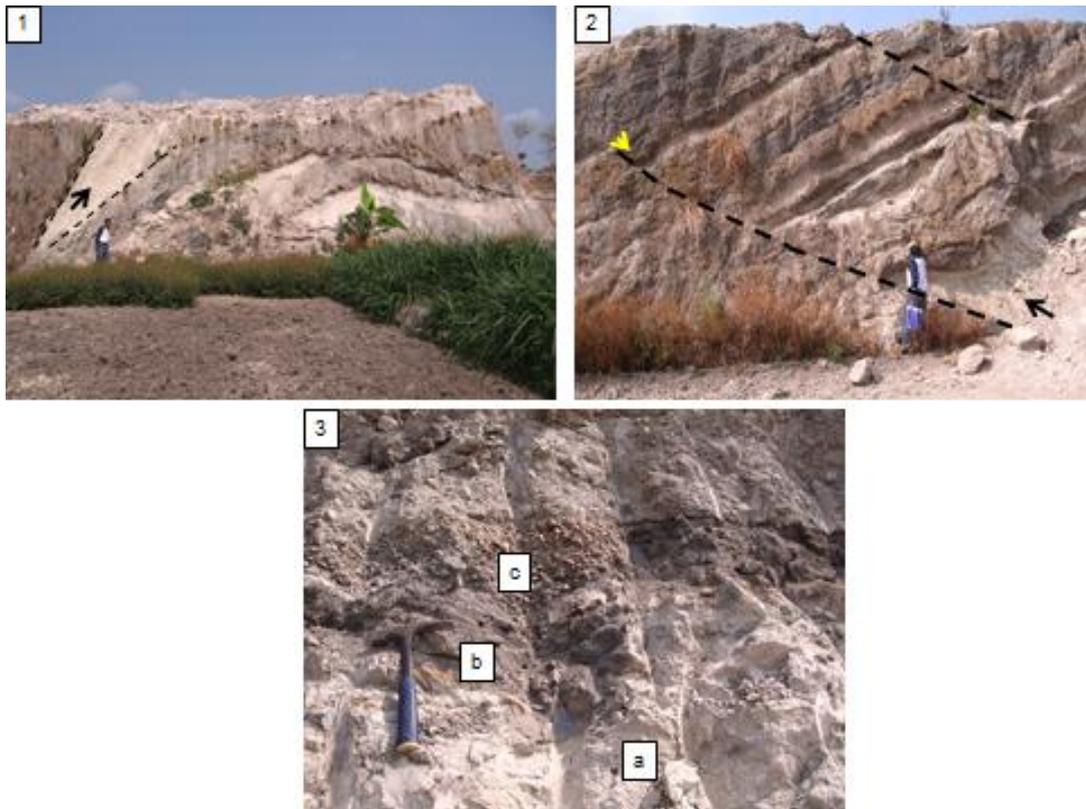
3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Bentang Alam

Dari barat ke timur bentang alam daerah Cengklik dan sekitarnya dibagi menjadi tiga bagian. Bagian barat berupa Danau Cengklik dan beberapa perbukitan rendah di sekitarnya, bagian tengah berupa dataran dan bagian timur merupakan perbukitan rendah. Danau Cengklik berukuran 2 km (barat-timur) x 2,5 km (utara-selatan), yang dimanfaatkan sebagai waduk irigasi pertanian, perikanan air tawar dan pariwisata setempat. Perbukitan rendah di sekitarnya mempunyai ketinggian 10-30 m di atas dataran di sekelilingnya, tetapi sebagian sudah digali untuk bahan bangunan kemudian dimanfaatkan untuk sawah dan ladang. Lapangan terbang internasional Adisumarmo di bangun 1 km di sebelah tenggara Danau Cengklik. Dataran di bagian tengah mempunyai ketinggian 100-110 m dml dimanfaatkan untuk pesawahan dan pemukiman penduduk. Di bagian timur perbukitan rendah mempunyai ketinggian 20 – 40 m di atas dataran di sekitarnya, sebagian sudah digali untuk bahan bangunan kemudian dimanfaatkan untuk pemukiman dan ladang. Di daerah ini sedang dibangun jalan tol Solo-Surabaya mulai dari utara lapangan udara Adisumarmo ke timur menuju Sragen dan Jawa Timur. Jalan tol ini rencananya akan dihubungkan dengan jalan tol Solo-Semarang. Dengan adanya lapangan terbang Adisumarmo dan jalan tol tersebut pembangunan pemukiman dan kegiatan usaha di daerah ini berkembang sangat cepat.

3.2. Endapan Gunung Api Lumpur

Di daerah penelitian singkapan endapan gunung api lumpur dijumpai setempat-setempat memanjang ke arah barat - timur sekitar 20 km dan lebar 3 – 5 km, mulai dari barat di sekitar Danau Cengklik Kabupaten Boyolali sampai dengan Desa Karangturi, Kecamatan Gondangrejo Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah. Endapan gunung api lumpur tersingkap sangat baik di bagian barat dan timur, yang sebagian besar berada di lokasi atau bekas lokasi bahan galian, sementara singkapan di sepanjang jalan tol sudah ditutup semen. Di bagian tengah tidak dijumpai singkapan karena daerahnya berupa dataran pesawahan. Di bagian barat endapan gunung api lumpur tersingkap di tepi selatan dan timur Danau Cengklik, yakni di Dusun Ngemplak, Desa Ngargorejo, koordinat 110° 43' 32,30" BT – 07° 31' 08,50" LS dan di Dusun Tawang Sari Desa Sobokerto, koordinat 110° 44' 25,50" BT – 07° 30' 38,90" LS. Keduanya berada di wilayah Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Boyolali. Singkapan endapan gunung api lumpur berbentuk terobosan seperti retas sedimen (*sediment dikes*), bola lumpur (*mud balls*) dan sisipan (*sills-like*) di antara breksi lahar, berwarna abu-abu berukuran butir halus (lanau-lempung). Di sebelah utara Danau Cengklik, endapan gunung api lumpur tersingkap di Dusun Gununglondo, Desa Kenteng, Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Boyolali, koordinat 110° 44' 41,90" BT - S 07° 29' 19,80". Endapan lumpur di bawah permukaan membentuk struktur diatrema dan sisipan, sedangkan yang keluar ke permukaan berupa perlapisan yang kemudian terlipat lemah dan tersesarkan (Gambar 2). Endapan berbutir halus (lanau-lempung), sedang (pasir) dan kasar (kerikil-kerakal). Endapan berbutir halus berwarna cerah (putih abu-abu), sedang yang berbutir pasir – kerakal berwarna abu-abu gelap sampai coklat karena mengalami oksidasi dan pelapukan. Warna segar pasir dan kerakal itu abu-abu gelap, tekstur porfiri dengan fenokris plagioklas dan piroksen yang tertanam di dalam matriks afanit, serta berstruktur pejal sampai berlubang skoria sehingga dapat dinamakan sebagai fragmen batuan beku andesit basal dan andesit basal skoria. Ciri litologi itu sama dengan endapan rombakan dari Gunung api Merbabu yang terletak di sebelah barat laut daerah penelitian. Oleh sebab itu endapan gunung api lumpur berbutir pasir dan kerakal tersebut diduga berasal dari rombakan batuan Gunung api Merbabu. Gunung api lumpur mampu mendorong formasi batuan bawah permukaan berbutir pasir sampai kerakal karena mempunyai energi daya dorong sangat kuat pada waktu erupsi.



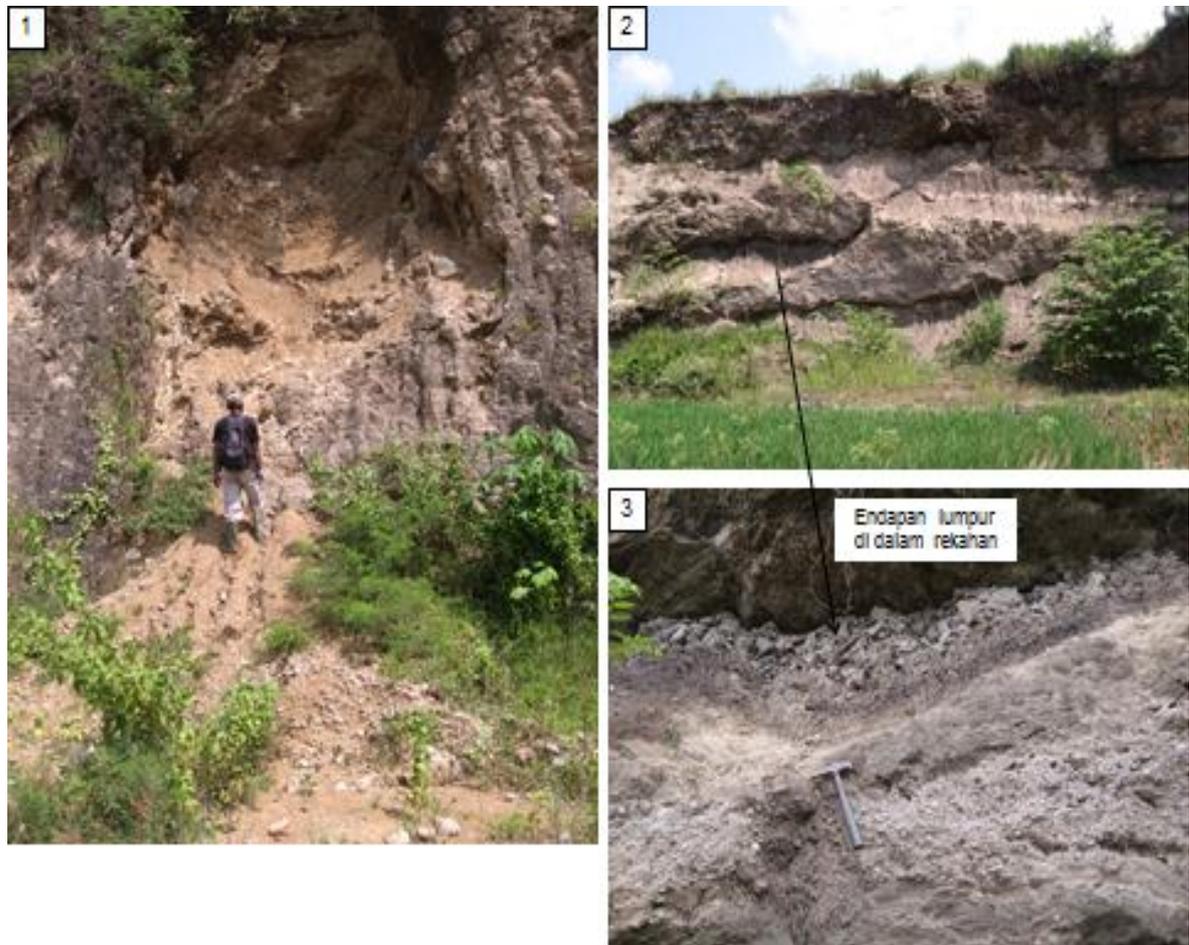
Gambar 2. Endapan gunung api lumpur di Dusun Gununglondo, sebelah utara Danau Cengklik, yang membentuk: (1) struktur diatrema (kiri) dan perlipatan terlipat lemah (kanan), serta (2) sesar kemudian di bagian bawah diterobos dan di bagian atas ditumpangi oleh endapan lumpur kemudian (anak panah). (3) Ragam ukuran butir endapan mulai dari lanau lempung (a), pasir (b) sampai dengan kerakal (c).

Di bagian timur endapan gunung api lumpur tersingkap di banyak tempat, antara lain di Dusun Terek, Desa Jatikuwung, koordinat $07^{\circ} 30' 40,2''$ LS – $110^{\circ} 49' 26,8''$ BT, Dusun Sanggrahan Desa Wonorejo ($07^{\circ} 31' 11,9''$ LS – $110^{\circ} 49' 28,8''$ BT), jalan tol dan Gunung Jenggrik wilayah Kecamatan Gondangrejo, Kabupaten Karanganyar. Di lokasi penggalian Dusun Terek endapan gunung api lumpur di bawah permukaan membentuk struktur diapir (*diapiric structures*), sisipan atau terobosan mengikuti bidang rekahan, bola-bola lumpur yang dihubungkan oleh rekahan halus, dan ke permukaan membentuk struktur diatrema (Gambar 3). Di bagian yang lebih dalam bentuk sisipan dan terobosan endapan gunung api nampak tidak beraturan serta batasnya dengan batuan yang disisipi/diterobos terkadang tidak jelas. Pada umumnya endapan lumpur di lokasi ini berbutir lempung-lanau.

Di Perumahan Permata Dusun Wonorejo endapan gunung api lumpur menerobos breksi longsoran gunung api dan breksi lahar (Gambar 4). Diduga kedua breksi itu masih belum kompak sehingga sebagian fragmen masuk ke dalam endapan gunung api lumpur. Breksi longsoran berwarna coklat kemerahan, bertekstur kataklastika, bentuk butir fragmen sangat menyudut – menyudut, sebagian membentuk kemas tertutup, dan dijumpai bom gunung api tertanam di dalam pasir skoria. Ciri-ciri tersebut menunjukkan bahwa material longsoran itu berasal dari endapan piroklastika. Breksi lahar berwarna coklat tanah, banyak mengandung fragmen berbentuk menyudut tanggung sampai membundar tanggung mengambang di dalam matriks berbutir pasir-lanau.

Di sepanjang jalan tol endapan gunung api lumpur ditemukan mulai dari Dusun Sanggrahan Desa Wonorejo, koordinat $7^{\circ} 31' 13,5''$ LS – $110^{\circ} 49' 49,5''$ BT, Dusun Ngledok ($7^{\circ} 31' 14,1''$ LS – $110^{\circ} 50' 53,8''$ BT) sampai dengan Gunung Jenggrik, di selatan Dusun Plosorejo, Desa Jatikuwung ($7^{\circ} 31' 15,0''$ LS – $110^{\circ} 50' 50,0''$ BT). Di tengah-tengah jalan tol endapan gunung api lumpur menerobos batupasir dan breksi lahar serta membentuk bola-bola lumpur (Gambar 5). Bola-bola lumpur masih dijumpai di kompleks Perumahan Wonorejo di sebelah selatan jalan tol

atau di utara Dusun Watuburik. Ke arah timur sisipan dan terobosan gunung api lumpur dapat diamati dengan jelas di Gunung Jenggrik. Di lokasi paling timur, yakni di tepi barat Bengawan Solo, endapan gunung api lumpur tersebut dijumpai di Dusun Kepuh, Desa Karangturi ($7^{\circ} 31' 12,9''$ LS – $110^{\circ} 52' 09,3''$ BT). Setelah material gunung api lumpur itu mengendap beberapa waktu lamanya terjadi padatan *caliche* di antara endapan lempung-lanau. Hal itu menunjukkan bahwa pada waktu masih aktif sebagian material gunung api lumpur mengandung banyak larutan kalsium karbonat (CaCO_3).



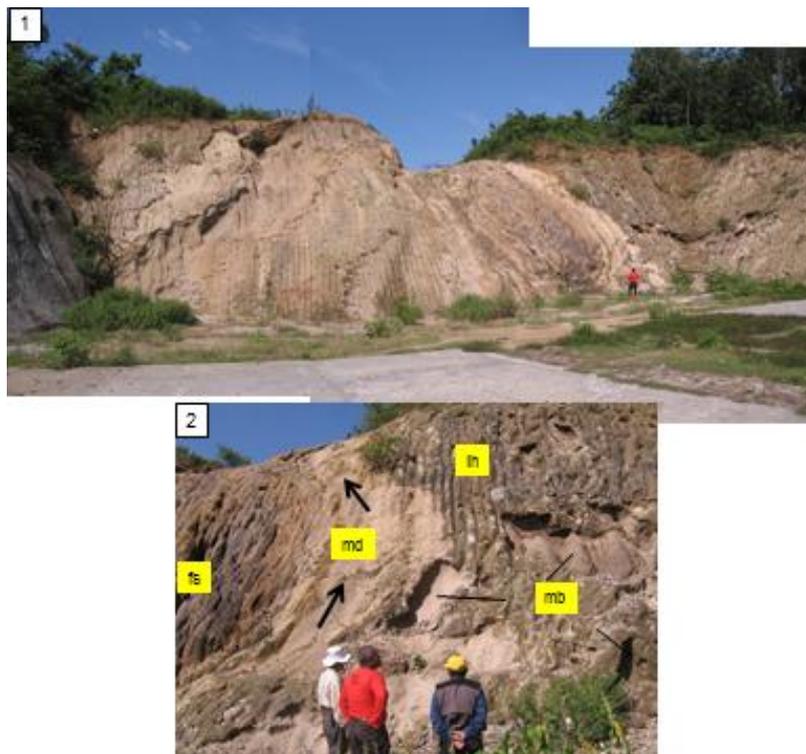
Gambar 3. Singkapan endapan gunung api lumpur di Dusun Terek, Desa Jatikuwung, membentuk struktur diapir (1) dan sisipan di dalam rekahan (2). (3) *Close up* endapan gunung api lumpur di dalam rekahan.

Tabel 2 memperlihatkan hasil analisis kimia oksida utama endapan gunung api lumpur di Terek dan Sanggrahan serta Sangiran. Meskipun berukuran butir halus secara kimiawi endapan lumpur gunung api itu berbeda dengan komposisi kimia mineral lempung dari Brwonlow (1996). Perbedaan yang sangat mencolok terjadi pada kandungan Al_2O_3 yang jauh lebih rendah (17,78 – 21,45 %) dibanding dengan mineral lempung (25,76 – 44,94 %), sebaliknya Fe_2O_3 jauh lebih tinggi (7,22 – 11,84 %) daripada mineral lempung (0,93 – 3,20%). Perbedaan lain di dalam endapan gunung api lumpur masih mengandung Ti dan Mn sedang di mineral lempung tidak ada.

Komposisi kimia oksida utama endapan gunung api lumpur di daerah penelitian dan Sangiran ternyata dapat dibandingkan dengan komposisi kimia lumpur Sidoarjo, yakni semuanya mengandung bahan oksida utama dalam berbagai persentase (Tabel 3).



Gambar 4. Singkapan endapan gunung api lumpur bercampur fragmen andesit (md) di dalam endapan longsor gunung api (da, 1) dan lahar (lh, 2). Endapan longsor gunung api memperlihatkan tekstur kataklastika (3), yang di dalamnya terdapat bom gunung api (vb, 4). Lokasi Perumahan Permata Dusun Sanggrahan Desa Wonorejo, Kecamatan Gondangrejo.



Gambar 5. (1) singkapan endapan gunung api lumpur di tengah-tengah jalan tol sebelum digali dan ditutup semen. (2) Close up yang memperlihatkan endapan gunung api lumpur (md) menerobos (anak panah) di antara batupasir fluvium (fs) dan breksi lahar (lh), serta membentuk bola-bola lumpur (mb). Lokasi tepi selatan Dusun Ngledok, Desa Jatikuwung, koordinat 07° 31' 14,1" LS - 110° 50' 53,8" BT.

Bahkan komposisi kimia itu mempunyai kemiripan dengan komposisi kimia batuan gunung api di dekatnya, yakni fragmen breksi lahar di Dusun Terek, bom gunung api di Dusun Sanggrahan

dan lava basal Grumbulpring, meskipun kandungan SiO₂ lebih tinggi. Zaennudin dkk. (2010) melaporkan bahwa lumpur Sidoarjo berasal dari material gunung api. Dengan demikian diyakini bahwa endapan gunung api lumpur di daerah penelitian dan Sangiran juga berasal dari material gunung api, yang belum benar-benar membentuk mineral lempung.

3.3. Struktur Geologi

Struktur geologi berupa sesar dan rekahan di endapan gunung api lumpur di Dusun Gununglondo dan Terek mempunyai arah yang tidak teratur. Berhubung endapan tersebut masih lepas-lepas, diperkirakan pembentukan struktur geologi itu bersifat lokal dan disebabkan oleh dinamika erupsi dan pengendapan pada waktu gunung api lumpur sedang berlangsung. Struktur geologi berupa kekar yang diyakini terkait dengan gerak-gerak tektonik terdapat di lava Grumbulpring (Kali Watuburik, koordinat 7° 31' 25,4" LS – 110° 50' 52,4" BT) dan breksi lahar (Kompleks Perumahan Wonorejo, koordinat 7° 31' 31,5" LS – 110° 50' 18,0" BT; Gambar 6). Hasil pengukuran kekar pada lava basal Grumbulpring menunjukkan arah utama N310 – 320°E, sedangkan di breksi lahar N330°E. Berhubung lava Grumbulpring dan breksi lahar tersebut berumur Kuartar, di duga struktur kekar berarah baratlaut-tenggara itu berhubungan dengan kegiatan neotektonik regional di daerah itu.

Tabel 2. Data kimia oksida utama gunung api lumpur di Terek (15M04L) dan Sanggrahan (15M05L) dibandingkan dengan komposisi gunung api lumpur di Sangiran (15M08L & K01L) serta mineral lempung dari Brownlow (1996, hal. 373). Satuan dalam % berat setelah dinormalisir 100 % bebas bahan volatil.

Kode/Sampel (% berat)	15M04L	15M05L	15M08L	K01L	Kaolinit	Ilit	Monmori-lonit
SiO ₂	61.40	63.21	53.93	63.43	53.01	54.30	66.66
TiO ₂	1.15	0.88	0.91	0.95	-	-	-
Al ₂ O ₃	19.76	20.24	17.78	21.45	44.94	31.93	25.76
Fe ₂ O ₃	11.84	8.01	9.61	7.22	0.93	3.20	1.08
MnO	0.13	0.10	0.18	0.09	-	-	-
MgO	2.01	4.12	2.36	2.18	0.09	1.45	4.20
CaO	2.18	1.43	11.82	1.59	0.09	0.74	2.11
Na ₂ O	0.64	0.30	2.40	0.64	0.77	0.14	0.05
K ₂ O	0.89	1.71	1.01	2.45	0.17	8.24	0.14
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-
Total	100.00						

Tabel 3. Komposisi kimia oksida utama di dalam lumpur Sidoarjo (Lusi-01 sampai Lusi-03, yang diambil pada Maret dan April 2007 serta Februari 2008; Zaennudin dkk., 2010), dan batuan beku dari daerah penelitian. 15M04B: Fragmen andesit di dalam breksi lahar Dusun Terek Desa Jatikuwung; 15M05B: Bom gn.api di Dusun Sanggrahan Desa Wonorejo sebagai bagian dari endapan longsoran gunung api; 15M06B: Lava basal Watuburik, Dusun Grumbulpring. Satuan dalam % berat setelah dinormalisir 100 % bebas bahan volatil.

Kode/Sampel (% berat)	Lusi-01	Lusi-02	Lusi-03	15M04B	15M05B	15M06B
SiO ₂ (% wt.)	62.15	61.10	62.93	54.39	56.25	48.95
TiO ₂	0.91	0.73	0.93	0.73	0.52	0.89
Al ₂ O ₃	21.04	20.39	20.35	21.52	22.50	21.96
Fe ₂ O ₃	7.47	7.48	7.71	7.37	5.85	8.99
MnO	0.12	0.13	0.13	0.17	0.16	0.20
MgO	2.20	3.17	2.60	2.05	1.70	2.00
CaO	3.25	2.36	2.35	8.37	7.74	10.75
Na ₂ O	0.68	2.44	0.70	3.71	3.75	3.49
K ₂ O	1.99	1.93	1.93	1.30	1.28	2.31
P ₂ O ₅	0.19	0.27	0.37	0.39	0.25	0.46
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

3.4. Pembahasan

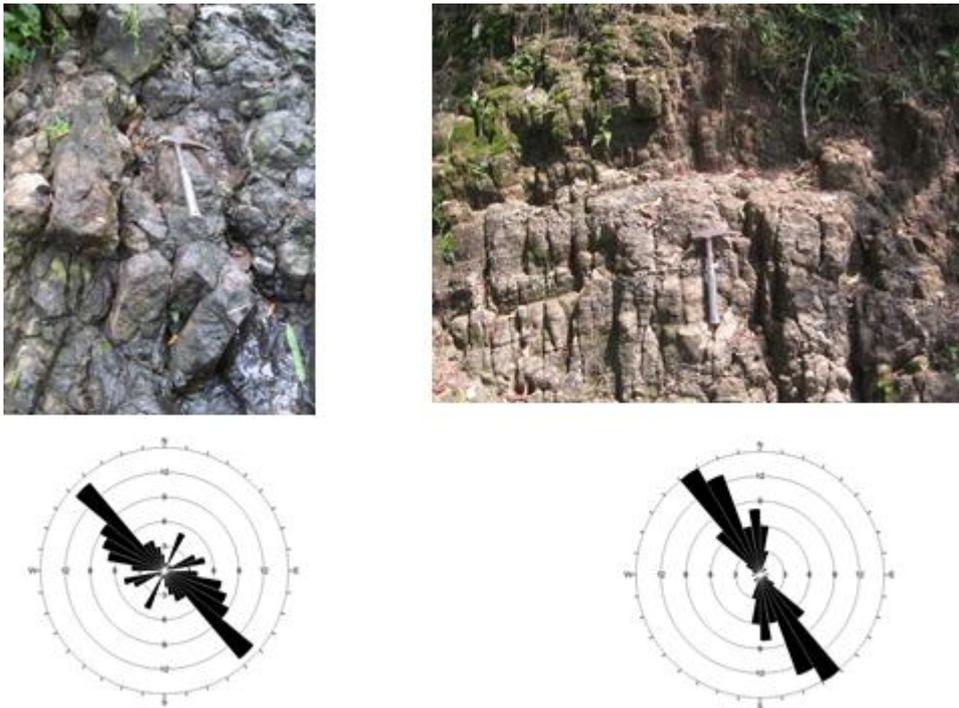
Bentang alam cekungan Danau Cengklik dan dataran di sekitarnya kurang lebih berbentuk elip memanjang ke utara-selatan dengan ukuran 4 km x 3 km. Di tepi selatan dan timur danau dijumpai endapan gunung api lumpur bawah permukaan, yang berbentuk terobosan, sisipan, dan bola-bola lumpur. Di bagian utara cekungan, yakni di Gununglondo, endapan gunung api lumpur membentuk struktur diatrema dan perlapisan endapan di permukaan yang mengindikasikan sebagai bahan semburan gunung api lumpur setempat. Berdasarkan data tersebut diperkirakan bahwa cekungan Danau Cengklik merupakan bekas kawah gunung api lumpur.

Endapan gunung api lumpur berbentuk sisipan seperti *sills*, menerobos seperti retas, struktur diapir dan bola lumpur seperti kubah lava bawah permukaan, diatrema seperti leher gunung api di bawah kawah. Hal itu menggambarkan dinamika pergerakan material gunung api lumpur, yang mengikuti bidang-bidang lemah di bawah permukaan dan dapat dibandingkan dengan dinamika magma gunung api dalam pergerakannya menuju ke permukaan. Bidang-bidang lemah di bawah permukaan pada awalnya dikontrol oleh kegiatan tektonik regional, namun gerakan material gunung api lumpur hingga di permukaan dapat juga membentuk struktur geologi setempat, seperti sesar dan lipatan lemah.

Berdasarkan analisa kimia oksida mayor material gunung api lumpur berasal dari batuan gunung api. Untuk mengetahui genesis gunung api lumpur, apakah dipicu oleh kegiatan tektonik saja, atau kombinasi dengan magmatisme masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Namun karena secara regional daerah penelitian di antara gunung api aktif Merapi-Merbabu di sebelah barat dan Lawu di sebelah timur, serta secara lokal terdapat lava basal Grumbulpring yang berumur Kuartar maka keterlibatan magma di bawah permukaan tidak bisa diabaikan.

Secara litologis, sifat fisik batuan di daerah penelitian sangat beragam, mulai dari pejal dan sangat keras seperti halnya lava Grumbulpring dan breksi lahar, sampai lepas-lepas dan lunak berupa endapan gunung api lumpur. Struktur kekar dan rekahan juga sangat intensif. Kedua faktor geologis tersebut menjadi landasan bahwa daerah penelitian dapat dipandang sebagai zona lemah. Dengan berkembangnya pembangunan di daerah ini, baik pembangunan jalan tol, pemukiman dan kegiatan usaha lainnya, maka perlu diperhatikan potensi bencana yang dapat terjadi di masa mendatang. Potensi bencana terutama di sepanjang jalan tol adalah deformasi muka tanah atau amblesan tanah. Dengan berjalannya waktu tanah dan batuan dasar tidak kuat menahan beban bangunan jalan dan lalu lintas kendaraan yang berat dan padat.

Kegiatan pembangunan pemukiman dan kegiatan usaha menyebabkan air permukaan terkontaminasi kemudian melalui struktur rekahan masuk ke bawah permukaan sehingga menyebabkan terjadinya polusi air tanah. Berhubung daerah ini terletak di jalur tektonik dan gunung api aktif maka potensi bencana lainnya adalah terjadinya gempa bumi tektonik, reaktivasi gunung api lumpur, dan lubang bukaan baru (*new opening vents*) gunung api (magmatik). Untuk mengantisipasi berbagai potensi bencana tersebut maka perlu melakukan penelitian dan mitigasi secara berkesinambungan. Hasil penelitian dan mitigasi tersebut dapat juga untuk membantu menanggulangi bencana gunung api lumpur yang sedang terjadi seperti di Sidoarjo atau yang dapat terjadi di mana saja pada masa mendatang. Di dalam uraian Landasan Teori dinyatakan bahwa penanggulangan bencana gunung api lumpur belum dimasukkan ke dalam peraturan perundangan yang berlaku. Oleh sebab itu penanganan potensi dan kejadian bencana gunung api lumpur agar dimasukkan ke dalam peraturan perundang-undangan tentang penanggulangan bencana.



Gambar 6. Kiri: Struktur kekar pada lava basal Grumbulpring (koordinat $7^{\circ} 31' 25,4''$ LS – $110^{\circ} 50' 52,4''$ BT) yang menunjukkan arah utama N310 – 320° E. Kanan: Struktur kekar pada breksi lahar di Kompleks Perumahan Wonorejo (koordinat $7^{\circ} 31' 31,5''$ LS – $110^{\circ} 50' 18,0''$ BT) yang menunjukkan arah utama N330° E.

4. KESIMPULAN

Di daerah penelitian terdapat gunung api lumpur tua dan Danau Cengklik diduga sebagai salah satu bekas kawahnya. Dinamika pergerakan gunung api lumpur mulai dari bawah sampai permukaan dapat dibandingkan dengan pergerakan magma selama erupsi gunung api berlangsung.

Secara geologis daerah penelitian merupakan zona lemah, yang berpotensi terjadi bencana amblesan tanah, pencemaran air, dan gempa bumi serta kemungkinan reaktivasi gunung api lumpur serta magmatisme-vulkanisme. Untuk itu penelitian dan mitigasi secara berkesinambungan sangat disarankan. Potensi bencana gunung api lumpur agar dimasukkan ke dalam peraturan perundang-undangan.

Ucapan Terimakasih

Dengan tersusunnya makalah ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Bapak Drs. Kurnia, Bapak Heri dan Ibu Ernawati yang telah membantu kerja di lapangan dan analisa di laboratorium. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada Panitia Seminar Nasional 2016 IST AKPRIND Yogyakarta yang telah menerima dan menyetujui makalah ini untuk dipresentasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bronto, S., 2008. Tinjauan Geologi Gunung Api Jawa Barat – Banten dan Implikasinya, *Jurnal Geoplrika, FITK- ITB*, 3 (2), 47-61.
- Bronto, S., Ciochon, R., Zaim, Y., Larick, R., Wulff, A., Rizal, Y., Carpenter, S., Bettis, A., Sudijono dan Suminto, 2004. Studi Petrologi Basal sebagai Indikasi Vulkanisme di Daerah Grumbulpring, Sangiran – Jawa Tengah, *Journal Sumber Daya Geologi*, XIV (2), 37-50.
- Itihara, M., Sudijono, Kadar, D., Shibasaki, T., Kumai, H., Yoshikawa, S., Aziz, F., Soeradi, T., Wikarno, Kadar, A.P., Hasibuan, F., and Kagemori, Y., 1985. Geology and Stratigraphy of

- the Sangiran Area, in: N. Watanabe & D. Kadar (Eds.): *Quaternary Geology of the Hominid Fossil Bearing Formations in Java*, Spec. Publ. n. 4, GRDC, 11-43.
- Purbo-Hadiwidjojo, M.M., 2013. *Kamus Geologi dan Ranah Rinangkun*, Badan Geologi, Bandung, 229.
- Satyana, A., 2008. Roles of mud volcanoes eruptions in the decline of the Jenggala and Majapahit empires, East Java, Indonesia : Constraints from the historical chronicles, folklore, and geological analysis of the Brantas delta-Kendeng depression, *Majalah Geologi Indonesia*, 23 (1-2), 1-10.
- Sukardi dan Budhitrisna, T., 1992. *Geologi Lembar Salatiga, Jawa, skala 1 : 100.000*, Puslitbang. Geologi, Bandung.
- Surono, Toha, B. dan Sudarno, I. 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta Jawa sekala 1: 100.000*, Puslitbang. Geologi, Bandung.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*, Vol. IA, Martinus Nijhoff, the Hague, 732.
- Wirakusumah, A.D., Bronto, S. and Sumaryadi, M., 2000. Volcanological Aspects of Muria Volcanic Complex and Their Hazard Assessment, Final Report on Volcanology, Feasibility study of Nuclear Power Plant at Muria Peninsula, Central Java, Indonesia, National Technical Team collaboration with National Nuclear Energy Agency (BATAN), 97 (unpub. report).
- Zaennudin, A., Badri, I., Padmawidjaja, T., Humaida, H., dan Sutaningsih, N.E., 2010. *Fenomena Geologi Semburan Lumpur Sidoarjo*, Badan Geologi, K-ESDM, Bandung, 174.